**展　望**

# ジオシンセティックス利用の発展は？

**東京理科大学　藤　田　　圭　一**

## 1.　まえがき

本文は、ジオシンセティックス分野に関する研究歴のない筆者に対して、極めて短期間で執筆せよとのご指示によって作成したもので、これも会員の義務であると考えて軽率に引き受けた後悔と困惑に悩み、型破りの展望として没になることをひそかに願っている次第です。

土構造へのジオシンセティックスの利用は地盤工学の新しい分野として急速な発展を遂げていますが、国際ジオシンセティックス学会は近代的に運営され、シンポジウムや研究発表が国内外において盛んに開催されていることは喜ばしい限りであります。第 35 回地盤工学研究発表会（2000 年６月）では、ジオシンセティックスの利用に関する発表件数は２～３％でしたが、技術展示コーナーの分類では、ジオシンセティックスの利用をテーマとした展示が約 20％に達していることに驚きました。しかしながら、現場における実施件数があまり伸びていないように思われますが、見当違いでしょうか。新しい材料や工法が開発されると、積極的、意欲的に取り組む技術者がおられる反面、そうでない技術者も多いようです。また、ジオシンセティックスの利用は経済的に不利になるケースが多いという声も少なくありませんが、環境コストすなわち $CO_2$ の排出量に対するコストを加味すると有利になるとする考え方もあります。さらに、現場施工に人力の利用が多くて機械化･省力化の時代に逆行するとか、材料の劣化･耐久性に疑問をもつ技術者も少ないようです。

以上の問題点は、ジオシンセティックスの利用する工法の成熟や普及に伴って、自然に解決するのではないかと考えていますが、ジオシンセティックスの利用する分野が将来どのようになるかについては、特に専門とする者でなくても興味を持つ事項であろうかと思います。すなわち、①ジオシンセティックスの利用する分野が今後も同じように発展を続けるのか？、②一層急速に発展するのか？、③どのようなことが発展に寄与するのか？、④逆に発展を阻害することが生じるのであろうか、⑤材料の劣化で事故や災害が生じることがあるのか？⑥問題が発生した場合にどのような対策が取れるか？、などについて考えることは無駄ではないと思います。また、古い時代からの技術の進歩を振り返えると、ジオシンセティックスの発展のヒントを求めることも可能かと考えます。

## 2.　死活型の技術－農耕について

人類が森林の中で野生動物と同じように木の実や小動物を食べていた時代には、完全なリサイクル型の生活を営み、持続可能な地球環境を維持していたはずです。この生活に不安を感じて森から脱出し、農耕を伴う共同生活を始めたことが、人類の存在そのものが地球環境維持の最大の敵、破壊の元凶に変わることになりました。人類は地球環境のもう一つの敵である自然災害を防止する役割を果たすことによって、人類存在の罪悪を償わなければりません。

さて、人類が営む河川の氾濫域の農耕地と丘陵地帯の農耕地には、それぞれ対照的な社会観と

技術が生まれたことは当然のことでしょう。氾濫域の農耕地は大規模な洪水には無防備であって、農作物を含む農地が一瞬のうちに水没するだけでなく、同時に多くの人命が失われたり、食糧不足により餓死の危険があります。しかし、ナイル河の流域のように氾濫に伴って堆積した土砂により肥沃な土地に生まれ変わる地域では、氾濫の災が転じて福になります。人命の危険が少なく、荒廃地になるようような土石流の発生がない地域、しかも収穫後に洪水が来るような場所であれば、最高な農地であると言えます。このような地域では、<楽天的期待型の技術>が生まれるでしょう。

一方、丘陵地域では干ばつによるリスクを避けるため、あるいは必要な時期に水が確保できるように灌漑の技術が生まれました。そのために山麗から地下に導水用のカナートと呼ばれているトンネルを掘っている地方があります。このトンネルには立坑の間隔を小さくして水平に掘削する区間が短い特徴があります。<意欲的独創型の技術>が生まれました。

その後、人口増加とともに、支配者は大規模な運河や灌漑用水路を平野に築造し、広大で安定した生産が可能な農地を造成していますが、これは<総合企画型の技術>と評価できるでしょう。また河口部付近の水深の浅い区域を干拓して、新たな農地とくに水田を造成した地方は、支配者がさらに勢力を拡大するために考えたもので、<勢力拡大型の技術>と言うべきでしょう。

農地の規模が大きいほど集団の人口は増加して強力な支配者・指導者が必要になることは当然のことですが、安定した農作物の生産が確保できるようになると、文明が生まれ、生活が豊かになる反面、貧困に悩む近隣諸国から侵攻の標的にされることは致し方ありません。これを防御するための軍事力として軍事技術・軍事工学が芽生えたと言われていますが、これは<国家・民族死活型の技術>と言えるべきでしょう。

## 3. 持続可能型の技術－稲作について

稲作とくに日本の水田における稲作技術は、農耕分野では世界でも唯一と言われる珍しい<持続可能型の技術>と言われています。すなわち、同じ水田で1000年以上も継続して主食である稲の栽培を続けても障害が発生していません。例えばドイツでは小麦を続けて栽培することが出来ないので、ジャガイモその他の作物と輪作しなければなりません。

さて、稲作に関しては、水田で栽培する水稲と畑地で栽培する陸稲に大別されますが、何れを選択するかについては、<地盤と環境による栽培条件判定型の技術>になると思います。種子(籾)は、熱帯地方などでは水上の小舟から水田に、アメリカ大陸などでは陸上あるいは空上から畑に撒布されています。日本では苗代に種子を撒いて苗を育てたあと水田に田植えをする<人海戦術型の技術>であります。したがって、日本以外の方法は、<単純明快型の技術>のように見えます。しかし、米の収穫量から眺めると、日本の方法は多収穫の面で非常に優れたもので、近年、この技術は次第に低開発国で普及しているとのことです。日本の技術は<人海戦術型高生産型の技術>になります。世界の人口が激増して食糧が不足することが確実な時代にあって、限られた耕地面積でこれを解決できる生産性の高い田植え型の稲作は、世界中に普及させたい<高効率・高生産型の技術>であると評価します。

この“田植え”は省力化時代の方向と逆行するものですが、近年ロボット化した田植え機が普及するようになり<省力型の技術>として、日本の農家に定着し、農村の労働力不足に貢献して

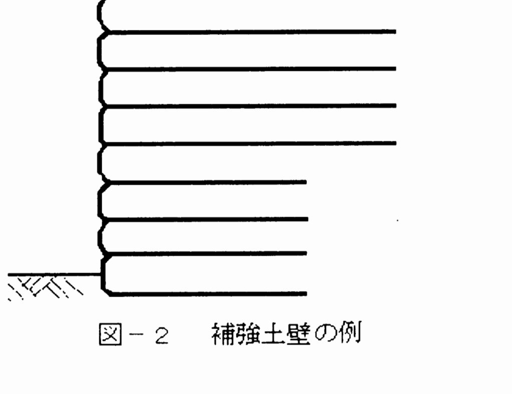
います。その初期には、手作業で苗代から苗を田植え機に積み込んでおりましたが、最近は、カセット状に苗代を作って、カセットのまま田植え機に積み込み、カセットから直接苗を植える＜全自動・革新型の技術＞に近い方法に変わりつつあるとのことです。その着想はどのように生まれたかは不明ですが、恐らくコピー機のカセットがヒントになっているのではないでしょうか。

近い将来、苗を植えるための田植え機が衰退し、その代わりに種撒き機が生まれて苗代が不要になる時代に戻るかもしれません。一定数の種子は、鳥や動物に食べられないように工夫されたカプセルに、育苗、肥料、害虫駆除などに必要な薬剤と一緒に収めます。これを一定間隔で水田や畑に種蒔き機で埋める方法ができると、十分にコントロールされた灌漑があれば、必要な時期に必要な量の薬剤が溶出して、稲が自然に生育するという＜復古・究極型の技術＞が完成すると思います。なお、薬剤は化学薬品ではないものとします。

## 4．補強土壁は究極型の技術になれるか？

ジオシンセティックスを用いた土構造には様々な種類がありますが、**図－１**のようなジオテキスタイルを用いた擁壁(以下、補強土壁と呼ぶ)を取り上げます。阪神大震災では、重力式コンクリート壁は転倒するなど大きく損傷したのに対して、矢板壁や補強土壁には、目立った損傷がないという大きな違いが認められ、その主な理由は、重力式のコンクリート壁は質量が大きいため、壁自体に大きな慣性力が生じたことにあるとされています。

壁高が大きい鉄筋コンクリート擁壁の設計の場合、背面土圧の計算に用いる内部摩擦角の大きさで、擁壁の安定が敏感に変わることは誰でも知っていることです。したがって、裏込め施工に先立って、適当な裏込め土と締め固め方法を選定し、設計で採用した内部摩擦角が得られるようにしなければなりません。しかし、どのように検討して施工したのか、監督の立場にある技術者がどのような方法で裏込め土の出来上がりをチェックしたのか、ほとんど聞いたことがありません。これが阪神大震災で崩壊した原因かもしれません。これは＜慣行惰性型の技術＞と言ってよいと思いますが、補強土壁は歴史が浅いので慎重に施工し、その結果として大震災の破壊から免れたのかもしれません。


図－２　補強土壁の例

**図－１**のような形状に仕上げることは簡単でないと思います。特に壁の前面のジオテキスタイルを折り返した箇所では、土砂を形良く包み込むために人力と熟練が必要で、弱点なるおそれがあると考えます。優れた工法でありながらひ弱さがのぞく＜優等生型の技術＞のように感じます。

この分野の技術者の方々が検討しておられる思いますが、簡単な方法が考案されて、盛土擁壁として＜究極型の技術＞になることを期待しております。

## 5．ジオシンセティックス材料の劣化と耐久性について

永久構造物と呼ばれる土木構造物は永遠に供用できることが望まれますが寿命があります。その寿命が何年であるかを実験室内のデータから推定できても、実際の条件でどうあるかが判らないことが問題であります。土木構造物だけでなく、あらゆるものは年月が経過すると機能が低下するので、ある段階で手入れをして引き続き使用するか廃棄しております。長年月の実績があれば補修や廃棄の時期はある程度予測できますが、予期したよりも早く大きな損傷が発生することを防ぐことは難しいようです。新しい素材であるジオシンセティックスは、長年月の実績がないので、複合した条件下での材料の劣化と耐久性の予測は極めて困難で、劣化した場合の対応をどうするか考えておく必要があります。

ジオシンセティックスの利用と同じように、グラウンドアンカーは、地盤工学の分野で比較的新しい技術で、まだ約 50 年の歴史しかもっておりません。グラウンドアンカーのうち、供用期間の長いものを永久アンカーと呼び、テンドンとして鋼材を使用する場合には、防食を施すことになっております。通常 50 年以上の寿命が期待されていますが、極めて短かい期間で腐食によって破断しているものがあります。

ＦＩＰのグラウンドアンカー分科会が 1986 年に調査した、永久アンカー造成から破断までの経過期間が明確な構造物２２件のうち、数１０年以上も供用を期待していた永久アンカーの中に、僅かに２箇月余りという短期間に腐食によって破断したものがあったことが判明しました。また、31 年後に破損した例では多数の中から４本破断していますが、残りはまだ供用されているものもあります。地盤中のグラウンドアンカーは周辺から予期しない複雑な外力を受け、防食層が破断して腐食による破断が生じたと思われます。したがって、グラウンドアンカー工法は、防食技術の成熟あるいは腐食しないテンドンの技術が定着するまでは＜試行錯誤式期待型の技術＞と言えるでしょう。

ジオシンセティックスの材料の劣化や耐久性に関しては、グラウンドアンカーの腐食や防食性と同様に考えてよいと思います。実験室内の試験に留まらず、あらゆる現場条件に対応した苛酷な試験による品質の確認を希望して、ジオシンセティックスの利用は＜不安解決待ちの期待型の技術＞と評価したいと思います。

## 6．維持管理と破壊・崩壊の対策について

ジオシンセティックスは遮水膜として、産業廃棄物処分場からの汚染水が地中に浸透するのを防止するために利用されております。しかしながら、遮水膜の接合面あるいは破れた個所からの漏水が発生している事実は、まだ技術が十分に成熟していないためで、ジオシンセティックスの利用は、まだ＜成熟待ちの渇望型の技術＞であると思います。漏水箇所が発見できるモニター技術、あるいは漏水箇所を閉塞させる技術が開発されたニュースを見聞しますが、最も大切なことは、漏水や破損が防止できる設計や施工方法を確立することです。

補強土壁の場合には、遮水膜と同様に破損や崩壊のおそれがないという理由は見当たりません。したがって、供用中の補強土壁の挙動を監視する適切な方法、崩壊とその徴候があったときに、どのように対処できるかの方法についての情報が欲しいと思っております。

## ７．製品・設計・施工の責任について

製品あるいは商品の欠陥もしくはその取扱説明書の不備によって損害を受けた場合、消費者は製造者に対して厳しく責任が追求できるように仕組まれたＰＬ法がアメリカにあります。例えば電気掃除機のホースに赤ん坊の手が吸い込まれて怪我をした場合に、そのようなことを禁止する条項が取扱説明書にないときには、賠償を請求することができるとのことです。

ジオシンセティックスの材料は歴史が新しく、その利用方法は日々拡大しているようです。製造者が想定しなかった使い方もあるかと思いますが、問題が発生した場合には、製造者・設計者・施工者いずれに責任があるのでしょうか？法律の有無や内容にかかわらず、日本でも紛争が生じる時代になりました。新しい材料や工法の場合には慎重に取り組むことは当然ですが、逆に問題を恐れて技術の進歩が止まることが心配であります。

## ８．土木工事における責任について

完成品に対する責任の所在についての問題が最近の新聞報道にありました。現在(2000年６月末)、どのような経過になるか不明ですが、ＪＲ西日本が山陽新幹線のトンネル覆工に欠陥が認められたゼネコンに対して、施工不良を理由に損害の請求をするが、企業者であった当時の国鉄に対しては責任を求めないと言う趣旨であったと記憶しています。そのトンネル工事の発注時に、監督者の責任、施工者の責任などがどのように定められていたのか、知りません。しかし通例として、トンネルの設計と監督はＪＲ、施工はゼネコンですが、図面や仕様書に記載されていない事項については監督員の指示により、また施工の各段階で監督員の承認や検収を受けるようになっていたと言われています。

近年、当時のセメントや骨材に品質上の問題があったとの指摘があるようですが、コンクリートに関しては、ゼネコンはＪＲの承認を得て使っていたと思います。会計検査院は公共工事に不良な物品の納入や不良な施工箇所があった場合には検査でこれを指摘し、これに対して支払があった場合には、適当な処置をする役目を持っていると聞いております。

ＪＲはトンネル工事を監督・承認・検査などにより現場で確認した上でトンネルを引き取っておりますが、ゼネコンだけに責任があるとする考え方があるとすれば、ＪＲ西日本はＪＲの技術者を全く信用していないのではないかと思います。土木工学にはまだ未知のことが残されているので、多くの技術者が合議・決定・実施したものは最善のものであると考えるべきです。ＪＲ西日本が長期間にわたって保守作業を継続しても検知することができず、さらに問題が発生して綿密な検査を再実施した後にも、覆工が剥落した事実から見ても、技術には自ら限界があるとするのが自然な考え方でしょう。まして、トンネル完成後に考えられないような高速度の列車が通行して、過大な応力が覆工コンクリートに加わっております。

この問題はどのような結末になるのか予断できませんが、多分ゼネコン側がＪＲ西日本の決定に従わざるを得ないと見るのが、わが国の商習慣から予想されるところで、このような結果になれば、ＪＲの技術者、ゼネコン技術者にとって不幸な出来事と言わざるを得ません。

シンガポール地下鉄工事を例にすると、工事の国際入札は設計・施工の条件で実施されました。その際にシンガポール政府が予め地質調査業者が実施した調査報告書を入札業者に渡すとともに、必要に応じ入札者は入札前に自費で補足的な調査を行うものとし、落札後に地盤が異なっていた

という理由での設計変更を求めないという条件が付けられていました。しかしながら、工事中から請負業者側はシンガポール政府の調査報告書の不備を理由に設計変更を提出しました。シンガポール政府は入札時の条件と異なることを理由に拒絶したために紛争になりました。国際的な紛争処理機関では、両者の意見を慎重に検討した結果、「請負業者が落札の確率から見て入札時に実施可能な調査には限りがあること、発注者側は事前に十分な期間と費用をかけて専門調査会社に調査させたのに対し、請負業者が短期間に僅かな費用でこれを上回る調査を行うことは不可能であり、着工して判明するような地盤の違いに関しては、発注者が負担するのは当然である。」との裁定が下っております。この裁定は極めて公平なもので、発注者でも未知のことは発注者が負担するのは当然のことではないでしょうか。

## 9．ジオシンセティックス材料における品種ついて

ジオシンセティックス材料は、最近のブームに乗って多種多様な製品が販売されていますが、過去と異なりその情報の入手は容易な時代になっています。ＩＧＳでは、さまざまなジオシンセティックス材料の試験方法、その品質についての規格や基準などを定めているようです。しかしながら、形状や寸法に関しては全く標準とするものがないと言って差支えありません。加えて、地盤も構造物の形状寸法も多種多様です。ユーザーである設計者や施工者は、多数の情報を整理して最適な材料を選定することは極めて困難な状況にあります。

ある設計条件に対して最適の材料を選定するためには、多くの実績を公平に整理したデータが必要ですが、材料の種類が多いほど種類当たりの実績が少なくなるので、データの信頼性が乏しくなります。また、エキスパートの意見を求める場合においても、エキスパートの一件当たりのデータが少ないと公平な判断ができなくなるおそれがあります。

ジオシンセティックス材料の製造者にとっても、多様な地盤のそれぞれについて相当な実績がない限り、適切な情報をユーザー発信することができません。ジオシンセティックスの材料が、無秩序であれば失敗をおこし、逆に衰退するおそれがあります。これを防ぐためには、例えば鋼材における型鋼と寸法のように、種類をおさえて標準をつくるべきだと考えます。

## 10．まとめ

地盤を対象とする土木構造物の設計・施工に関しては、未知のことが沢山残されておりますが、新しい材料ジオシンセティックスの利用においては、さらに未知のことが多いのは当然のことであります。未知のことが多いからと言ってジオシンセティックスの利用を避けることは、技術の進歩に逆行することだと思います。

いずれにせよ、発注者・設計者・施工者が力を併せて築造したものが、たとえ欠陥があったとしてもこれを責めてはならないと考えます。責めるべきことは、失敗があった場合にこれを隠すことで、これでは技術の発展を望むことはできません。

極めて短期間に専門でないジオシンセティックスに関する文章を執筆したこと、また期日直前に体調を崩して調査不十分のまままとめたことは、会員の皆様に対して大変申し訳ないとお詫び致します。